ОТЗЫВ

научного консультанта, доктора технических наук, профессора Темирбекова Е.С. на диссертационную работу Каимова Сулеймена Талгатовича на тему «Разработка математического и программного обеспечения систем управления мобильным роботом с адаптивным исполнительным механизмом захвата, имитирующего движения руки человека», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060300 – Механика

Диссертационную работу я оцениваю с точки зрения машиноведения, а не с точки зрения робототехники или теории управления, поскольку я специалист в области теории механизмов и машин. Во введении работы обосновывается актуальность исследуемой диссертантом проблемы. Она очень актуальна и с этим нельзя не согласиться. Во введении также сформулирована цель, объект, предмет и методы исследования; научная новизна, значимость исследования; научные положения, которые намерен защищать диссертант; достоверность результатов, апробация, публикации по диссертации. А также личный вклад автора, из которого видно, что основные результаты диссертации получены им самостоятельно.

Основная часть состоит из четырех глав.

Глава 1. Сначала говорится о конструктивных особенностях ТВЭЛ-а АЭС. Показаны внешний вид реактора, ТВС, ТВЭЛа. Результатом работы АЭС является в качестве отходов это отработанные радиоактивные таблетки в ТВЭЛах. ТВЭЛы представляют собой герметичные циркониевые трубки, заполненные таблетками двуокиси урана, обогащенной изотопом уран-235. Их автор предлагает с помощью манипулятора с захватом складировать в специально оборудованных могильниках. Корпус ТВЭЛа представляет собой цилиндрическую оболочку из циркония, толщиной не более 1 мм, имеющее тонкое кольцевое сечение. Поэтому универсальность и возможность применения схватов в этих работах во многом зависят от способности регулирования усилия захватывания. При захватывании схватом ТВЭЛ-а его корпус может деформироваться под воздействием разных нагрузок. Поэтому так важно точное сохранение формы, даже упругие деформации ТВЭЛ-а являются нежелательными. При переносе ТВЭЛа вследствие действия сил инерции могут возникать его проскальзывание и перемещение в схвате. Чтобы этого не произошло, нужно увеличивать усилие захватывания. Поэтому возникла задача найти разумный диапазон значений, чтобы с одной стороны, чтобы ТВЭЛ не деформировался, а с другой стороны не возникало его проскальзывание в схвате при движении. Для этого показано решение задачи о захватывании кольца двумя, тремя, четырьмя, шестью и восемью точками контакта. Для них получены области допустимых сил при различных значениях диаметра кольца. Естественна закономерность, при которой увеличение точек контакта способствует лучшему удержанию кольца без проскальзывания, и при этом это кольцо не деформируется. Эти кривые имеют количественные показатели, связывающие силы контакта и диаметр кольца, материал, толщину и высоту кольца. То есть можно для каждого конкретного случая подобрать необходимый схват, оптимальный по размерам в этих критериях.

Глава 2. Сначала в этой главе дается общая схема и алгоритм перегрузки ТВЭЛа из промежуточного контейнера с твердыми радиоактивными отходами (ТВРАО) в полость основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы. В качестве схватов предлагается рассмотреть использование трехфалангового схвата и второй упрощенный вариант схвата. Дается их общее описание на основе анализа каких просмотренных научных работ они были выбраны.

Затем рассмотрена кинематическая схема двухфалангового схвата и на основе ее статического анализа найдена зависимость силы давления зубьев на объект от силы на приводе. Затем была разработана его 3D-модель. Методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса (ВК) «Inventor» были просчитаны жесткость и

прочность этой 3D-модели на одном из вариантов разработанной схемы. Получены для конкретных метрических и инерционных параметров модели диаграмма прочности (с определением приведенных напряжений по Мизесу, они показаны на цветовой шкале в МПа), диаграмма жесткости (показана их картина на цветовой шкале в миллиметрах), а также дана картина распределения коэффициентов запаса прочности (показана на цветовой шкале).

Аналогично рассмотрена плоская кинематическая двухпальцевая схема трехфалангового схвата и на основе ее статического анализа найдена зависимость сил давления зубьев на объект от сил трех приводов. Затем с использованием вычислительного комплекса (ВК) “Inventor” была разработана его 3D-модель, с тремя пальцами.

В 2.3 сначала поднимается проблема расчета зубьев на прочность и жесткость для трехфалангового схвата. Как один из вариантов, силы на зубьях рассчитываются как для челюстного захватного устройства камнеуборочной машины. Зубья рассчитываются на сжатие-растяжение и изгиб.

Повышения точности параметров при взаимодействии трехфалангового схвата манипулятора ПР с учетом стохастических процессов при его взаимодействии с захватываемым объектом излагается методом фильтрации Калмана. Здесь даются зависимости оптимальных отфильтрованных значений силы от условной оси шарнира О соединения смежнорасположенных фаланг с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями рычага схвата до точки контакта внутренней поверхности всех контактирующих фаланг с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями каждого рычага-схвата с поверхностью верхнего участка ТВЭЛа. *Редакционный комментарий - Здесь для большей наглядности и ясности изложения метода фильтрации Калмана было бы желательно более подробно изложить чему равными и из каких соображений берутся дисперсии ошибок* σ_{γ}^2 и σ_{δ}^2*; какие именно параметры показаны на графике 2.14, ведь фаланг в данном схвате на каждом пальце не менее трех, и пальцев тоже три.*

Глава 3. Здесь на примере перегрузки агросадоводческой продукции приведены экспериментальные исследования адаптивного схвата робота.

В 3.1. сначала дается общая модель для перехода какой-либо машины из начального состояния к её перспективному состоянию. Дается описание двухуровневой оптимизации «по схеме многокритериального анализа альтернатив», в качестве целевых функций оценки даются десять показателей эффективности. Вводится обобщенный критерий как линейная комбинация этих десяти критериев. Дана экономическая часть. *В ней описание одного из параметров не дано (возможно он описан ниже в формуле 3.6).* Для условного робота на условном примере дано описание этого алгоритма в виде двух таблиц значений. *Редакционный комментарий - Возникает естественный вопрос, как связаны данные этих двух таблиц.*

В 3.2 также приводятся данные по результатам испытаний схватов для перегрузки агропромышленной продукции. Даются особенности операций сбора, отбора и упаковки агропромышленной продукции. Диссертант Каимов С.Т. принимал участие в них в период прохождения им научной стажировки в Университете Кассино (г.Кассино, Италия) под руководством профессора М.Чикорелли. Профессор М.Чикорелли письменно сообщил, что он высоко «оценил способность диссертанта Каимова С.Т. в исследовательской деятельности для проектирования механических систем. И в этом же письме рекомендовал диссертанта для получения степени доктора наук для его успешной будущей деятельности и карьеры» (письмо профессора М.Чикорелли от 26 сентября 2018г.). *Редакционный комментарий - таблицы 3.6 нет, рисунок 3.3 встречается два раза на стр.64 и на стр.68.*

В 3.3 показана разработка модернизированного двухфалангового схвата для агросадоводческой продукции. Конструкция предлагаемого захвата была разработана под руководством профессора Чикарелли (Италия, зарубежный руководитель диссертанта Каимова С.Т.). Как видно из описания параграфа диссертант принимал непосредственное участие в проведении опытных испытаний различных вариантов схемы предлагаемого захвата. Для наших отечественных механиков, занимающихся схватами и вообще механизмами и роботами, это бесценный опыт для их будущих исследований и разработок. Хотелось бы, чтобы диссертант более подробно поде-

лился своим опытом в этой работе. *Редакционный комментарий – слово «индекс» по тексту параграфа лучше заменить на более нам привычное слово «показатель»; формулы (3.16), (3.17) описывающие два способа оптимизации требует более подробного разъяснения; оптимизация какими методами проводилась – это симплекс-методы или методы с использованием градиента и гессиана целевой функции?; слово «ссылка» лучше заменить на слово «звено»; параметры* ζ, r_H, Q *не показаны на рисунках; есть и другие легко устранимые мелкие редакционные неточности.*

В 3.4 описана конструкция захвата, разработанного под руководством профессора Чикарелли. Так же видно из описания параграфа, что диссертант принимал непосредственное участие в проведении экспериментов этой конструкции захвата. Для наших механиков, занимающихся схватами и вообще механизмами и роботами это также бесценный опыт для их будущих исследований и разработок. Хотелось бы, чтобы диссертант более подробно поделился своим опытом и в этой его работе. *Редакционный комментарий – концовка параграфа написана немного невнятно и требуется небольшая его корректировка.*

Глава 4. Здесь дано описание программного обеспечения по моделированию и управлению роботами. Для специалиста-машиноведа эта информация является малознакомой. Поэтому она сама по себе представлет особую ценность для освоения машиноведами роботов с их управлением и элементами электроники. Хотелось бы, чтобы диссертант указал здесь, какой именно объект из роботов он использует, дал его общий вид, описал его структуру, его кинематику. Из текста, этого, к сожалению, я не увидел. Диссертант дает технические характеристики центрального блока, но не видна его функциональная связь с роботом, описание которого также не дается, о чем я говорил выше. Это же касается и схемы управления и принципиальной схемы на рисунках 4.4-4.6.

Далее описаны основные выводы и заключение по диссертации. Что касается списка литературы, то видно, что диссертант проработал достаточный объем источников литературы. Обращает внимание, что пункт 25. написан не полностью; пункт 27. повторяет пункт 23.; пункт 38. непонятно для чего присутствует в списке литературы, ведь в диссертации не используется ни Maple, ни Maplet.

Заключая свой отзыв о диссертационной работе Каимова С.Т., как его консультатнт хочу высказать свое мнение о ней и вообще о диссертанте. Во время докторантуры диссертант проявил себя как достаточно активный, ищущий исследователь, тем более что ему пришлось самостоятельно углубленно изучать механику – он закончил бакалавриат и магистратуру по другой специальности. Он успешно прошел теоретический и прикладной курсы по механике, предусмотренные докторантурой. По диссертационной работе видно, что проделан большой объем теоретических и научных исследований. Конечно, есть и некоторые недочеты и нехватка знаний по углубленным разделам теоретической и прикладной механики. По некоторым моментам диссертации я и диссертант имеем неодинаковые мнения и подходы, также есть мелкие редакторские недочеты в диссертации, но это не носит принципиального характера, и это все может быть решено диссертантом до его защиты диссертации. Его доклад на семинаре в ИММаш им.У.А.Джолдасбекова в августе 2019 года одобрили руководители института – это ведущие специалисты в области машиноведения - генеральный директор профессор Тулешев А.К. и его заместитель д.т.н. Джомартов А.А.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа на тему «Разработка математического и программного обеспечения систем управления мобильным роботом с адаптивным исполнительным механизмом захвата, имитирующего движения руки человека» в целом отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 6DD00 – Механика, а ее автор Каимов Сулеймен Талгатович заслуживает присуждения ему степени доктора философии (PhD).

Научный консультант, доктор технических наук,
профессор Темирбеков Е.С.

10.9.19

Подпись Темирбекова
Заверяю

Кадрлар және қосқықтық қамтамасыз ету бөлімі